

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Synchronizovaná měření pomocí GPS a jejich  
využití pro praktické účely**

Synchronized by GPS Measurements and their Use  
for Practical Purposes

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Vít Panáček**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2601R004 Měřicí a řídicí technika

Téma:

Synchronizovaná měření pomocí GPS a jejich využití pro praktické účely  
Synchronized by GPS Measurements and their Use for Practical Purposes

Zásady pro vypracování:

Cílem řešení bakalářské práce je realizace měřicí aplikace pro třífázová měření opatřená synchronizační časovou značkou.

Body zadání:

1. Rozbor možností tvorby aplikace.
2. Tvorba aplikace pro měření třífázové napájecí soustavy.
2. Studium možností synchronizovaných měření pomocí GPS signálu.
3. Tvorba aplikace pro měření opatřená časovou značkou.
4. Ověření činnosti aplikace pro třífázová měření opatřená časovou značkou.
5. Zhodnocení výsledků měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI PXI-6682 Series User Manual: NI PXI-6682 and NI PXI-6682H Timing and Synchronization Modules for PXI*. March 2009. 65 s. Dostupné také z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/372292b.pdf>
- [2] *IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems*. New York: IEEE Inc., March 2006. 65 s. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1611105&userType=inst>
- [3] WITTASSEK, Tomáš. *Virtuální instrumentace I*. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2012. Sylaby do předmětu Virtuální instrumentace I. 264 s.
- [4] BILÍK, Petr. *Virtuální instrumentace II*. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2012. Sylaby do předmětu Virtuální instrumentace II. 288 s.
- [5] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Praha : BEN - technická literatura, 2008. 248 s. ISBN 978-80-7300-245-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ludvík Koval, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



---

doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

# Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 6. 5. 2014



---

# Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat za odborné konzultace a odbornou pomoc doc. Ing. Ludvíku Kovalovi, Ph.D., Ing. Marku Hořínkovi a za podporu své rodině a přítelkyni.

# Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá měřením napětí třífázové soustavy a zachycením události v síti s referenčním časem získaným pomocí GPS. Měření je prováděno systémem NI PXI. Na základě rozboru problematiky měření jsou v úvodu rozebrány možnosti naprogramování měřicí aplikace.

Výsledkem této bakalářské práce je aplikace naprogramovaná v prostředí LabVIEW, která je schopná měření a synchronizace s GPS po výskytu události v třífázové síti. Tento software je podkladem pro vývoj komplexnější aplikace a slouží ke studiu šíření poruchy v distribuční napájecí síti.

# Klíčová slova

GPS, PXI, LabVIEW, Měření, Synchronizace, Třífázová soustava, Distribuční síť

# Abstract

This bachelor thesis deals with the measurement of three-phase voltage system and capture network events with reference time obtained using GPS. Measurement will be implemented on NI PXI. There are discussed in the introduction about programming possibilities of measuring application based on the analysis of measurement issues.

The result of this bachelor thesis is application programmed in LabVIEW environment. This application is able to measure and synchronize time using GPS after the occurrence of event measured on three-phase system. This is the basis for the development of complex application and is used to study the spread of disturbances in the power distribution network.

# Keywords

GPS, PXI, LabVIEW, Measuring, Synchronization, Three-phase system, Distribution network

# Seznam zkratek

BIPM	(Bureau International des Poids et Mesures), mezinárodní institut spravující míry v Bureau
DAQmx	(Data Acquisition ), sběr dat
DSP	(Digital Signal Processing), digitální signálový procesor
GMT	(Greenwich Mean Time), greenwichský čas
GPS	(Global positioning system), globální polohový systém
IEEE	(Institute of Electrical and Electronics Engineers), mezinárodní institut elektroniků
IERS	(International Earth Rotation Service), mezinárodní správa rotace Země
LabVIEW	(Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench), grafické programovací prostředí
MC	(Master Clock), hlavní hodiny GPS umístěné v USNO
MXI	(Multisystem extension Interface), komunikační rozhraní k řízení PXI systémů pomocí Express card sběrnice
NI	(National Instruments), mezinárodní firma zabývající se virtuální instrumentací, měřením, řízením a automatizací
NTP	(Network Time Protocol), protokol pro synchronizaci vnitřních hodin počítačů
PC	(Personal computer), osobní počítač
PCI	(Peripheral Component Interconnect), paralelní počítačová sběrnice
PCIE	(Peripheral Component Interconnect Express), expresní paralelní počítačová sběrnice
PMU	(Phase Measuring Unit), fázorová měřicí jednotka
PPS	(Pulse Per Second), hodinový signál s kmitočtem 1Hz
PXI	(PCI extension for instrumentation), průmyslová platforma na bázi PC
PXIE	(PCI extension for instrumentation Express), průmyslová platforma na bázi PC se sběrnici PCIE
RMS	(Root mean square), efektivní hodnota
SI	(Le Système International d'Unités), mezinárodní soustava jednotek fyzikálních veličin
subVI	(subroutine Virtual Instrument), obdoba subrutiny v textovém programování
TAI	(International Atomic Time), mezinárodní atomový čas
USB	(Universal Serial Bus), universální sériová linka
USNO	(United States Naval Observatory), námořní observatoř ve spojených státech amerických
UTC	(Coordinated Universal Time), koordinovaný světový čas
VI	(Virtual Instrumentation), virtuální instrumentace

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Rozbor možností tvorby aplikace .....</b>	<b>2</b>
2.1	PXI systém .....	3
2.2	Postup tvorby aplikace .....	5
2.2.1	Popis vývojového diagramu .....	6
2.3	Parametry měřicí aplikace .....	7
<b>3</b>	<b>Tvorba aplikace pro měření třífázové napájecí soustavy .....</b>	<b>8</b>
3.1	Zpracování signálu .....	9
3.2	Vzorkovací frekvence .....	9
3.3	Spouštěcí podmínky .....	10
3.3.1	Spouštěcí podmínka dle okamžité hodnoty .....	10
3.3.2	Spouštěcí podmínka dle plovoucí okamžité hodnoty určené pomocí RMS .....	13
3.4	Zpracování dat .....	14
3.4.1	Ukládání dat .....	14
3.4.2	Čtečka souborů .....	16
<b>4</b>	<b>Studium možností synchronizovaných měření pomocí GPS signálu .....</b>	<b>17</b>
4.1	IEEE 1588 .....	18
4.2	GPS .....	18
4.2.1	GPS časová synchronizace .....	19
4.2.2	Časové měřítko TAI a UTC .....	19
4.3	Synchronizační karta NI PXI-6682 .....	20
4.4	Přesnost časového údaje .....	21
<b>5</b>	<b>Tvorba aplikace pro měření opatřená časovou značkou .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Ověření činnosti aplikace pro třífázová měření opatřená časovou značkou .....</b>	<b>23</b>
6.1	Ověření funkce pomocí USB karty a funkčního generátoru .....	23
6.1.1	Ověření spouštěcí podmínky dle okamžité hodnoty v režimu bez GPS .....	24
6.1.2	Ověření spouštěcí podmínky dle plovoucí okamžité hodnoty, určené pomocí RMS v režimu bez GPS .....	24
6.2	Ověření aplikace na systému NI PXI .....	25
6.2.1	Ověření spouštěcí podmínky č. 1 .....	27

6.2.2	Přerušení fáze .....	27
6.2.3	Snížení napětí .....	28
6.2.4	Zvýšení napětí .....	29
6.2.5	Přerušení vedení sítě.....	30
6.3	Možné využití aplikace .....	31
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>33</b>
	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>34</b>



# Seznam obrázků

Obr. 1 - LabVIEW grafické vývojové prostředí.....	2
Obr. 2 - Komponenty PXI měřicího systému [3] .....	3
Obr. 3 - Vývojový diagram aplikace .....	5
Obr. 4 - Základní tok programu aplikace DAQmx [7] .....	8
Obr. 5 - Spouštěcí parametry podmínky č. 1 .....	11
Obr. 6 - Spouštěcí parametry podmínky č. 1 - čelní panel .....	12
Obr. 7 - Blokové schéma spouštěcí podmínky č. 2 .....	13
Obr. 8 - Spouštěcí parametry podmínky č. 2 - čelní panel .....	13
Obr. 9 – Prvky na předním panelu pro ukládání dat do souboru.....	15
Obr. 10 - Náhled do souboru uložených dat.....	16
Obr. 11 - Čtečka uložených dat.....	16
Obr. 12 - Základní tok programu aplikace NI Sync se zařízeními NI PCI-1588 a NI PXI-6682H [6].	17
Obr. 13 - GPS modul NI-PXI 6682 [6] .....	20
Obr. 14 - Blok GPS synchronizace .....	22
Obr. 15 - Ukázka aplikace při ověřování funkce.....	24
Obr. 16 – Ukázka zachyceného signálu při ověřování funkce .....	25
Obr. 17 - Blokové schéma zapojení měřicího systému .....	26
Obr. 18 - Přerušení fáze L1 viz příloha 2014_03_25-15_48_57.txt.....	27
Obr. 19 - Přerušení fáze L2 viz příloha 2014_03_25-15_49_10.txt.....	27
Obr. 20 - Přerušení fáze L3 viz příloha 2014_03_25-15_49_26.txt.....	28
Obr. 21 - Snížení napětí na fázi L1 viz příloha 2014_03_25-15_50_36.txt.....	28
Obr. 22 - Snížení napětí na fázi L2 viz příloha 2014_03_25-15_51_29.txt.....	28
Obr. 23 - Snížení napětí na fázi L3 viz příloha 2014_03_25-15_51_50.txt.....	29
Obr. 24 - Zvýšení napětí na fázi L1 viz příloha 2014_03_25-15_53_32.txt.....	29
Obr. 25 - Zvýšení napětí na fázi L2 viz příloha 2014_03_25-15_55_13.txt.....	29
Obr. 26 - Zvýšení napětí na fázi L3 viz příloha 2014_03_25-15_56_34.txt.....	30
Obr. 27 – Přerušení vedení sítě viz příloha 2014_03_25-15_52_03.txt.....	30
Obr. 28 - Přerušení vedení sítě 2 viz příloha 2014_03_25-15_58_08.txt .....	30
Obr. 29 - Využití aplikace .....	32

# 1 Úvod

Stále rozvíjející se síť elektrické energie si vyžadují správu. V případě lokálních měřicích stanic lze jednoduše sledovat průběh veličin ve sledované síti. Vzhledem k množství měřicích stanic a velikosti distribuční sítě vznikl požadavek na sledování šíření poruch a událostí v síti. Napojení měřicího systému na synchronizovaný zdroj času GPS představuje velkou výhodu při sledování sítě.

Předmětem této bakalářské práce je návrh aplikace pro měření třífázové soustavy, opatřené synchronizační značkou, za pomoci GPS signálu. Měření je realizováno na bázi virtuální instrumentace, z čehož plyne, že cílem této bakalářské práce je vývoj aplikace v prostředí LabVIEW.

V první části se zabývám možnostmi naprogramování aplikace a použití odpovídajícího hardware. Tato úvodní kapitola pojednává o problematice virtuální instrumentace a využití PXI systémů.

V další části se zabývám programovým řešením aplikace a jejími událostmi, které nejlépe vystihuje vývojový diagram s popisem.

Následuje část uvedení do problematiky vzorkování signálu, softwarového řešení spouštěcí podmínky na událost v síti, ukládání dat a korekce časové osy vzorkovaných dat.

V části synchronizace pomocí GPS se zaměřuji na zdroj GPS času, její přesnost a možnost využití jiných zdrojů času dle normy IEEE 1588. Následuje část samotné implementace čtení času ze satelitů GPS.

Závěrem provádím kontrolu a ověření funkčnosti programu na modelu soustavy třífázového napětí. Nejprve jsem ověřil správné spouštění ukládání dat při vzniku události v síti, potom korektnost všech dat a správnost synchronizační značky.

## 2 Rozbor možností tvorby aplikace

Vývoj řešené aplikace této povahy vyžaduje rychlou tvorbu programu s uživatelsky jednoduchým rozhraním.

Při volbě programovacího jazyku byla zvážena možnost použití jazyku C# nebo C++, avšak pro povahu úlohy a její úspěšné dokončení byla zvolena uživatelsky jednodušší i rychlejší možnost grafického programování.

Dalším hlediskem na výběr programovacího prostředí byla i skutečnost, že systém NI-PXI a jeho propojení s GPS modulem *NI-PXI 6682* vyžaduje komunikaci v programu LabVIEW, LabWindows nebo Microsoft Visual C++. Jiné programovací prostředí mimo již zmíněné není vhodné pro synchronizaci PXI systému pomocí GPS.

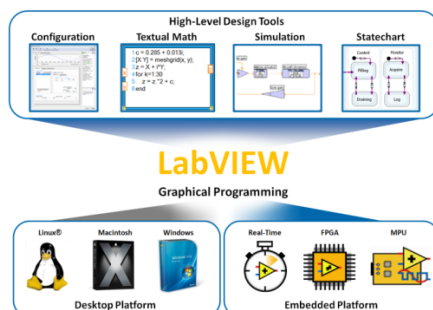
LabVIEW splňuje všechny požadavky pro splnění této práce a jelikož se jedná o grafické programování, které umožňuje rychlý postup práce, byla zvolena právě tato možnost.

Aplikace bude vytvořena na bázi virtuálního instrumentu.

Současné technologie umožňují dříve složité analogové obvody nahradit výkonným měřicím, data zpracujícím zařízením – DAQ (Data Acquisition) a DSP (Digital Signal Processing) softwarem.

Vše je pak řízeno z hlavního počítače a vzniká tzv. virtuální přístrojová technika. Základním principem odstranění složitého návrhu elektroniky a jejího ladění je možnost použití jednoho DAQ zařízení pro více rozdílných aplikací. Konečně použití vytvořeného číslicového měřicího systému určuje programátor, uživatel nikoliv výrobce zařízení.

Virtuální instrument se skládá z počítače (PC, PXI) vybaveného příslušnou vstupní kartou a aplikací umožňující propojení měřené nebo řízené aplikace s ovládacím softwarem. Pro měření bude použit systém PXI firmy National Instruments, který komunikuje se zásuvnými moduly po sběrnici PCI.



Obr. 1 - LabVIEW grafické vývojové prostředí

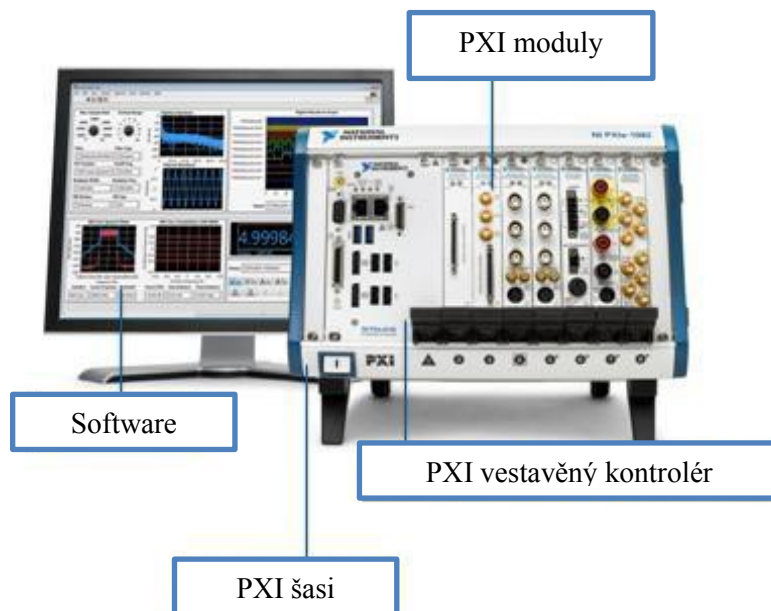
## 2.1 PXI systém

PXI (PCI extension for Instrumentation) je hardwarová platforma, která je postavená na platformě PC pro měření a automatizaci. Kombinuje vlastnosti PCI, specializované synchronizační sběrnice a fyzický formát zásuvných modulů v podobě karet. Tyto karty mají rozměry odpovídající specifikaci Eurocard (zařízení v podobě karty s definovanými rozměry). K dispozici je rovněž provedení PXIe s rychlejší sběrnicí PCI Express. [3]

Jedná se o zařízení, které je schopno testovat, měřit a řídit průmyslové aplikace. Velkou výhodou je velká softwarová podpora a rozmanitost zásuvných modulů.

PXI systém bude obstarávat celý průběh měření, zpracování signálu a následné zaznamenávání a ukládání dat s časovou značkou.

PXI systém (viz obr. 2) se skládá z šasi, zásuvných karet a kontroléru popřípadě výstupního zařízení komunikujícím přes rozhraní MXI s osobním počítačem, který je obstarán kartou vstupní kartou do Express card slotu PC, který zajišťuje v tomto případě (bez kontroléru) výpočetní procesy soustavy.



Obr. 2 - Komponenty PXI měřicího systému [3]

PXI systém pracuje na operačním systému Windows XP a pro využití v této aplikaci je potřeba níže uvedený software:

- LabVIEW (programovací prostředí)
- NI Sync (utilita obsluhující synchronizační zařízení)
- NI DAQmx (utilita pro sběr dat)

PXI je vhodné jak pro vysoce výkonné, tak i nízkonákladové aplikace, které se týkají měření a automatizačních systémů. Tyto aplikace bývají implementovány do výrobních testů, automobilismu, pro armádní, kosmické účely a k monitorování strojních zařízení nebo k průmyslovému testování. [11]

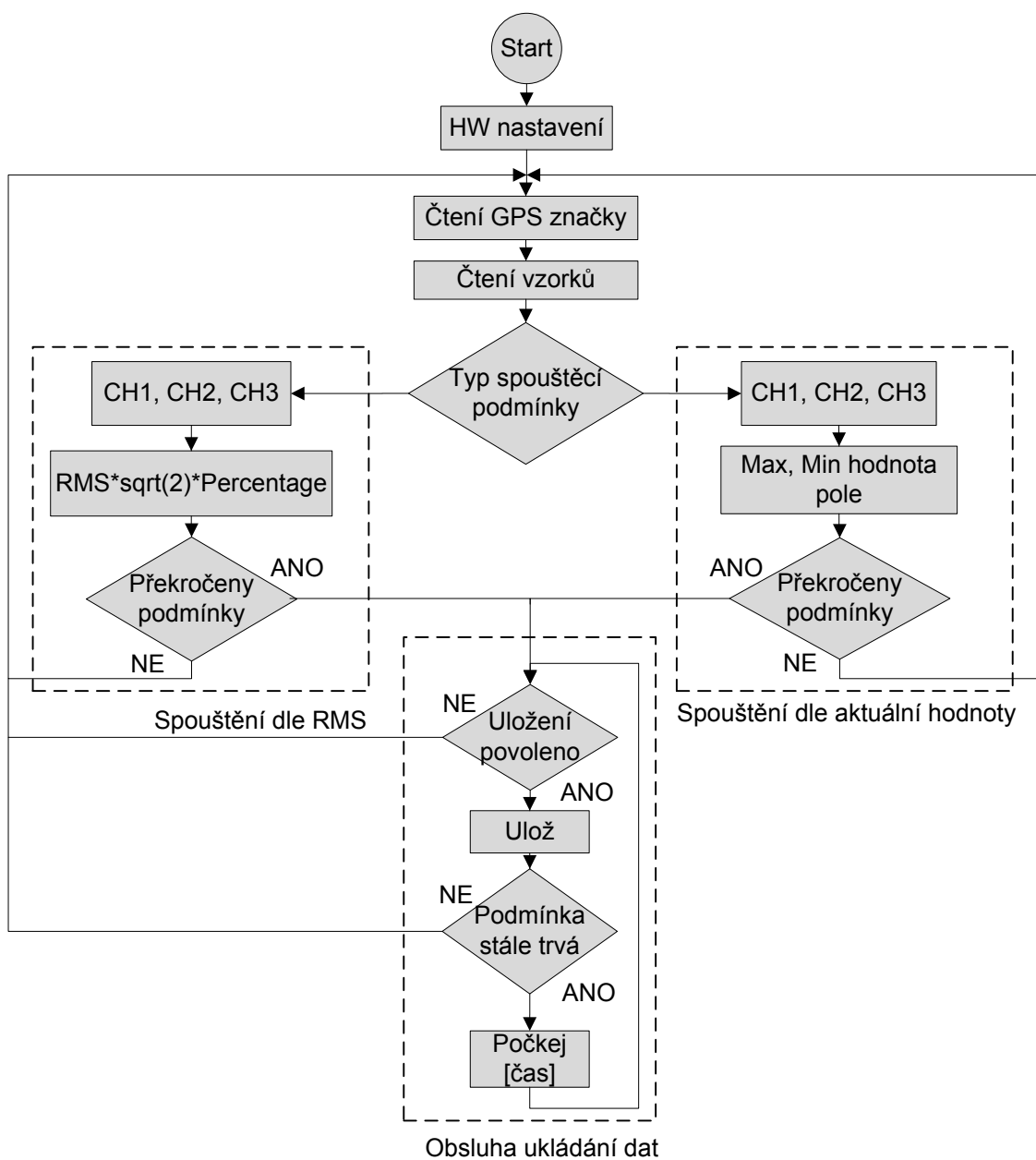
PXI bylo vyvinuto v roce 1997 a spuštěno v roce 1998. Byl představen jako otevřený průmyslový standard, aby pokryl požadavky složitých přístrojových systémů.

Dnes je PXI spravován PXI Systems Alliance (PXISA), tedy skupinou více než 70 společností.

PXI systémy jsou složeny ze tří základních částí -- šasi, kontroléru a periferních modulů.

## 2.2 Postup tvorby aplikace

Níže uvedený vývojový diagram vystihuje logiku programu



Obr. 3 - Vývojový diagram aplikace

### 2.2.1 Popis vývojového diagramu

V programovém prostředí LabVIEW je vytvořen program zajišťující komunikaci se zařízením pro sběr dat DAXmx, v tomto případě vzorkovací kartou *NI PXI-6040E*.

Podobná komunikační úloha je vytvořena i pro komunikaci se synchronizační kartou *NI PXI-6682*, která zajišťuje komunikaci s GPS satelity a čtení aktuálního času.

Tyto bloky programu, které zajišťují nastavení hardware, jsou vně hlavní smyčky programu. Uvnitř probíhá zpracování podmínky, zobrazování a ukládání dat a další operace týkající se obsluhy programu.

Uvnitř hlavní smyčky programu se nachází načtení GPS času, neprodleně poté jsou navzorkována data. Tok programu je zajištěn tak, aby byla první načtena časová značka a poté vzorkované signály.

Dle typu spouštěcí podmínky je provedena kontrola překročení aktuální hodnoty. Následně jsou data zapsána do souboru a pokračuje kontrola dalších dat. V případě překročení podmínky trvale je implementována ochrana proti zahlcení úložného média, ukládáním v rozestupu času nastaveného uživatelem.

Při programování aplikace pro měření byl postup práce vyčleněn následujícími body:

- 1) Seznámení se s hardwarem a softwarem
- 2) Tvorba aplikace pro měření napětí třífázové soustavy obsahující komunikaci se systémem NI-PXI, vzorkující dostatečnou frekvenci pro uložení průběhu o délce přibližně pěti period
- 3) Vyřešení spouštění zachytávání dat podle spouštěcí podmínky s kontinuálním zobrazováním měřené soustavy
- 4) Implementace funkce načtení časové značky a přiřazení k zachyceným datům při přechodovém ději
- 5) Ladění aplikace
- 6) Ověření funkčnosti aplikace

## 2.3 Parametry měřicí aplikace

Aplikace bude vytvořena v anglickém jazyce, z důvodu problémů s diakritikou. Na tuto skutečnost jsem byl upozorněn po konzultaci s technickou podporou NI.

Sběr měřených signálů bude zajišťovat vstupní karta *NI- 6040e*, synchronizace bude prováděna za pomoci modulu *NI PXI-6682*. Měřicí aplikace musí umožňovat změnu spouštěcí úrovně. Dále bude možno sledovat měřené průběhy napětí v reálném čase a bude umožněno jejich zachycení do textového souboru po zaznamenání změny některé z měřených napětí s možností zpětného vykreslení.

Při tvorbě měřicí aplikace je kladen důraz na tyto parametry:

- Schopnost měření a zobrazování měřených veličin
- Zajištění logování dat po překročení horní nebo dolní meze napětí
- Zapisování zachycených dat do souboru
- Možnost změny parametrů ukládání dat a parametrů spouštěcí podmínky
- Možnost změny napěťové konstanty

Změna frekvence vzorkování a počtu čtených vzorků je možná po zadání jejich parametrů do bloků DAQmx. Bloky DAQmx slouží pro komunikaci s měřicími kartami. Tyto a ostatní změny parametrů jsou přístupné i z uživatelského rozhraní aplikace.

Je možno nastavit:

- úroveň signálu spouštějící logování dat
- časový rozestup mezi ukládanými daty v případě delší poruchy
- napěťovou konstantu
- vstupní zařízení



### 3 Tvorba aplikace pro měření třífázové napájecí soustavy

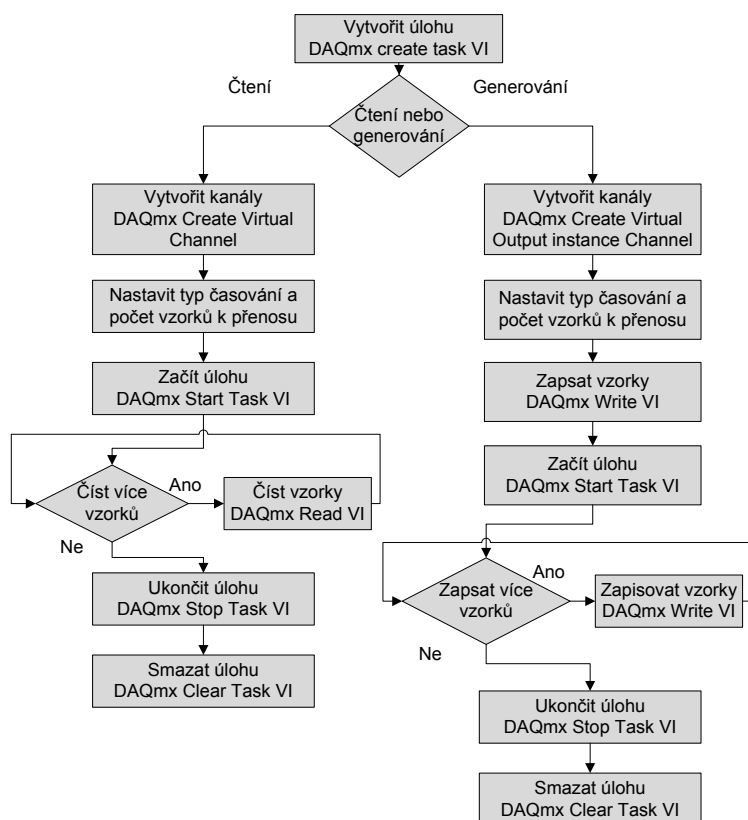
Při realizaci aplikace je dbáno na jednoduchost, využití naprogramovaných VI a efektivitu.

Při ladění programu pro měření soustavy byla využita karta *NI USB-6210* a funkční generátor *GFG-8200A*. Odpadla tak nutnost přítomnosti celého PXI zařízení a byla tak usnadněna práce s hardwarem. Parametry vzorkovací karty neovlivňují program, který bude použit na systému PXI.

Sběr dat zajišťuje prvek DAQmx. Je to software, umožňující komunikaci s hardwarem od firmy National Instruments. Třífázová soustava bude v konečné fázi napojena přes převodní napěťové transformátory na vstupní kartu *NI-PXI 6040E*, připojenou do jednoho ze slotů PXI.

Níže uvedené schéma zobrazuje obecný postup při čtení nebo generování dat pomocí DAQmx. Napomáhá tak k pochopení posloupností obslužné úlohy. Tato úloha „*DAQmx Task*“ zajišťuje obsluhu vzorkovací karty a je nedílnou součástí programu.

V této úloze bude využita pouze úloha ke čtení dat, ne ke generování. Při programování jakékoliv úlohy DAQmx je důležité zachovat vyobrazený tok programu.



Obr. 4 - Základní tok programu aplikace DAQmx [7]

## 3.1 Zpracování signálu

Nejprve je nutná úprava pole navzorkovaných dat. Tato úprava slouží k celistvému zachycení události v síti.

Pro bezetrátové zachycení události je nutné posílat data do bufferu. Další iterací smyčky se z balíku pěti period použije druhá polovina ke spojení s novými vzorky. Výsledné pole se následně vyhodnocuje.

Tato korekce zajistí, že pokud nastane událost na konci nevzorkovaných dat, uloží se vhodná část signálu v podobě balíku, který má dvojnásobný počet hodnot než počet čtených vzorků.

Toto měření bude výsledně bezetrátové a neunikne žádná část průběhu poruchového stavu.

## 3.2 Vzorkovací frekvence

Vzorkovací frekvence a počet vzorků nastavených pro odběr úlohou DAQmx přímo souvisí s rychlostí odezvy na případné přechodové děje a rozsahem uložených dat. Volba parametrů probíhá s ohledem na daný problém, dle doporučení z dokumentace NI [9].

Tento virtuální instrument dbá na co nejrychlejší odezvy pro definované odchylky sledovaných signálů. Je nutné zajistit, aby program nebyl zatěžován příliš složitými výpočty nebo čekacími úlohami.

Volba vzorkovací frekvence a počet čtených vzorků je způsob jak definovat délku časového úseku pro uložení. (viz kap. 3.4)

Při vzorkování tří signálů je nutné počítat s jejich fázovým posunem v důsledku multiplexace vstupů při čtení dat ze vstupní karty. Vzniklé zpoždění bude korigováno pomocí posunu časové osy na druhém a třetím kanálu.

Tato korekce může být vypočtena za předpokladu, že známe parametry měřicí karty. Hodnota maximální vzorkovací frekvence karty je dostupná v datasheetu [10].

Časovou korekci určíme následujícím vztahem:

$$\Delta t = \frac{1}{f_{max}} \quad (3.1)$$

$\Delta t$  – časové zpoždění [s]

- maximální frekvence vzorkovací karty NI PXI-6040E je 500 kS

$$\Delta t = \frac{1}{500\,000} = 0,000002\,s = 2\,\mu s$$

Je výsledné časové zpoždění mezi 1. a 2. kanálem.

Vypočtená časová korekce je vždy vztahována od prvního vzorkovaného kanálu, který není fázově posunut. Mezi třetím a prvním kanálem je tato hodnota dvojnásobná. Stejný postup volíme i v případě  $n$  kanálů.

## 3.3 Spouštěcí podmínky

Při návrhu spouštěcí podmínky byly vzaty v úvahu dvě podoby spouštěcích podmínek. Měřením bylo zjištěno, že lepší odezva byla docílena spouštěcí podmínkou dle plovoucí okamžité hodnoty, určené pomocí RMS. Tato spouštěcí podmínka vykazuje lepší odezvu i na přechodné zákmity dějící se například v jedné půlperiodě.

### 3.3.1 Spouštěcí podmínka dle okamžité hodnoty

V této sekvenci se nejprve z čelního panelu načte hodnota žádané spouštěcí úrovně ve voltech. Ta je pak násobena kladnou a zápornou procentuální odchylkou od žádané hodnoty. Tímto získáme pásmo necitlivosti na signály, překračující zadanou mezní hodnotu. Následuje tříkanálové zjišťování, zda je aktuální maximální a minimální hodnota pole v příslušných mezích.

Tento algoritmus je obdobný pro určení a porovnání záporné části signálu. Obrázek č. 6 popisuje uživatelsky nastavitelné parametry pro spouštění ukládání.

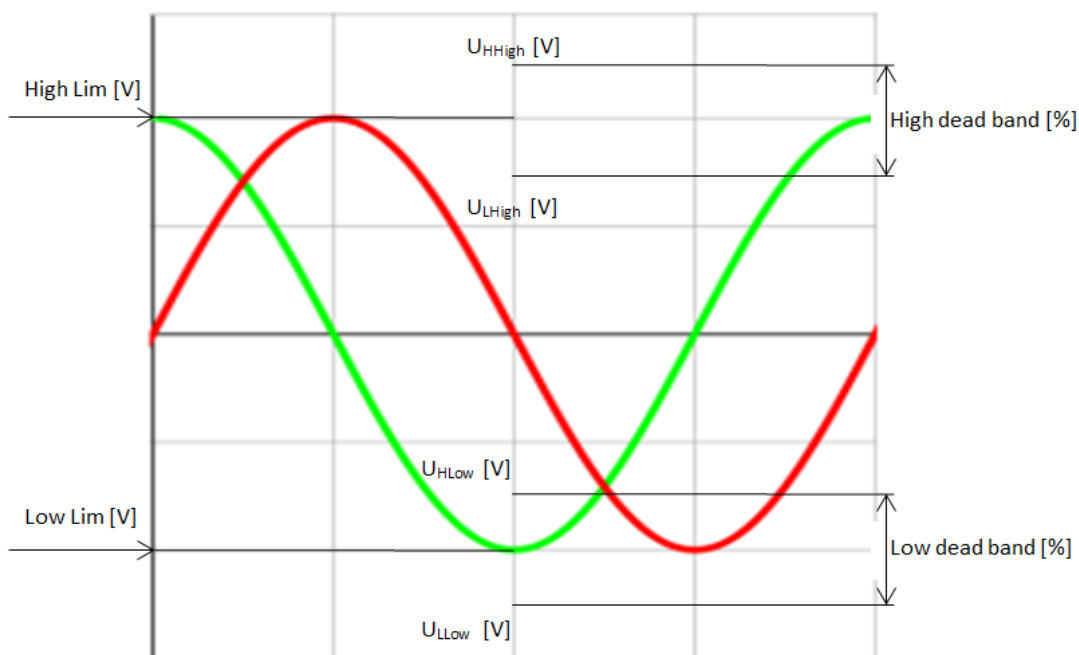
Spouštěcí hodnoty jsou dány následujícími vztahy:

$$U_{LLow} = -U \cdot \left(1 + \frac{[Low\ deadband]}{2 \cdot 100}\right) \quad (3.2)$$

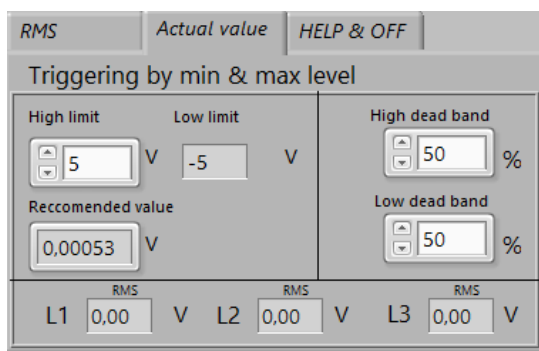
$$U_{HLow} = -U \cdot \left(1 - \frac{[Low\ deadband]}{2 \cdot 100}\right) \quad (3.3)$$

$$U_{LHigh} = U \cdot \left(1 - \frac{[High\ deadband]}{2 \cdot 100}\right) \quad (3.4)$$

$$U_{HHigh} = U \cdot \left(1 + \frac{[High\ deadband]}{2 \cdot 100}\right) \quad (3.5)$$



Obr. 5 - Spouštěcí parametry podmínky č. 1



Obr. 6 - Spouštěcí parametry podmínky č. 1 - čelní panel

Doporučená spouštěcí hodnota uživateli napovídá, jakou úroveň napětí je vhodné zvolit pro spouštěcí podmínku.

Je dána vztahem:

$$U_{recc} = U_{RMS} \cdot \sqrt{2} \quad (3.6)$$

$U_{recc}$  – doporučená hodnota spouštěcího napětí [V]

$U_{RMS}$  – efektivní hodnota napětí určená z 1. kanálu [V]

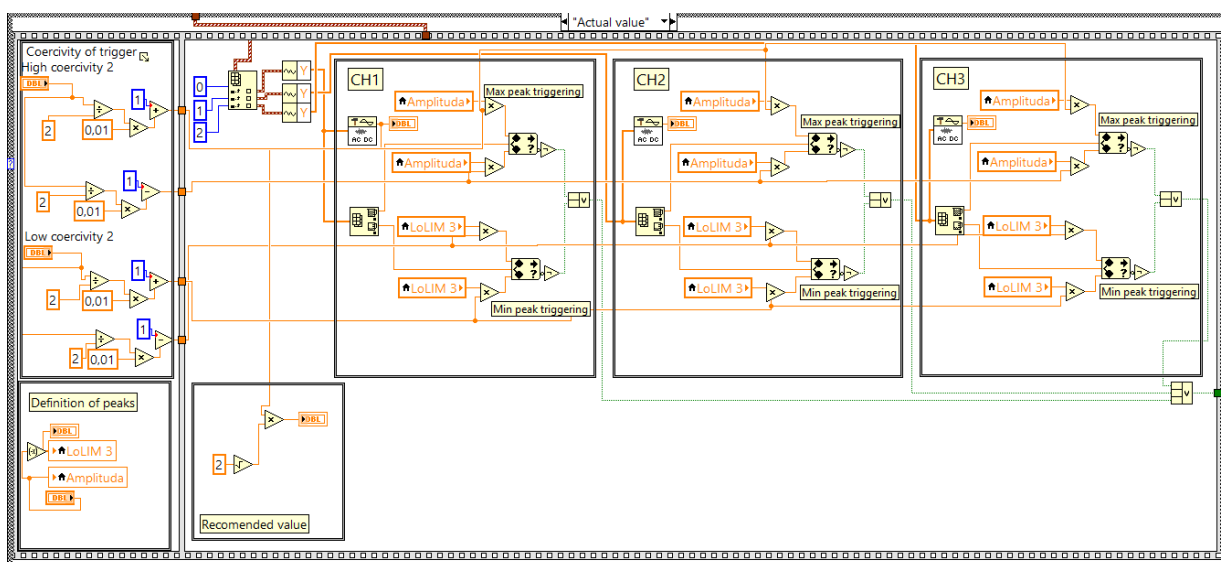
Dále je nutno nastavit procentuální odchylku napětí pro „High dead band“ a „Low dead band“. Program nemusí mít stejnou citlivost pro kladnou a zápornou část signálu. Tyto procentuální odchylky jsou vztaženy k aktuálně nastavené hodnotě spouštěcího napětí.

Ve spodní části karty se nachází prvky zobrazující aktuální efektivní hodnotu (RMS) pro každý kanál.

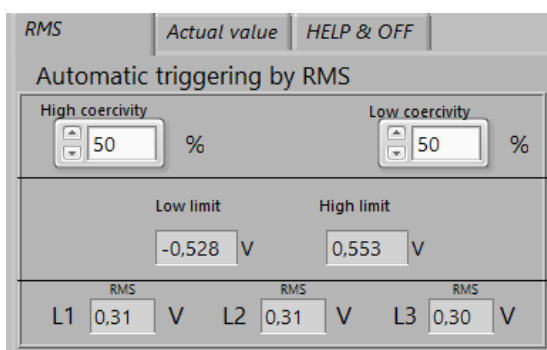
### 3.3.2 Spouštěcí podmínka dle plovoucí okamžité hodnoty určené pomocí RMS

Sekvence s touto spouštěcí podmínkou je založena na přepočítávání aktuálních RMS hodnot jednotlivých kanálů na odpovídající minima a maxima okamžitých hodnot. Tyto minima a maxima jsou dále násobena dovořených rozsahem od povolené hodnoty, jako je tomu v předchozí spouštěcí podmínce.

Nelze u této sekvence jednoduše určit spouštěcí hodnoty, protože reagují na změnu RMS hodnot. Spouštěcí hodnoty jsou plovoucí, ale postup a další operace vyhodnocující spouštěcí podmínku, jsou obdobné předchozímu způsobu spouštění. [viz. kap. 3.3.1]



Obr. 7 - Blokové schéma spouštěcí podmínky č. 2



Obr. 8 - Spouštěcí parametry podmínky č. 2 - čelní panel

V této spouštěcí podmínce je možno nastavit položky „High dead band“ a „Low dead band“, dále není nutno nic nastavovat. Je důležité, aby byl v tomto režimu připojen sinusový signál s běžnou frekvencí síťového napětí 50 Hz. Parametry vzorkování musí být nastaveny tak, aby program zobrazoval a kontroloval vhodný počet period. V případě nutnosti měřit jiný kmitočet je nutno upravit hodnoty vzorkování. Bez této úpravy by byla podmínka spouštění kvůli zmíněné skutečnosti překročena neustále.

## 3.4 Zpracování dat

Vzhledem k potřebě zachycené data uchovat, popřípadě zpětně zobrazit, je v programu implementován algoritmus zajišťující ukládání definovaný časový úsek. Tento časový úsek lze určit ze vzorkovací frekvence a počtu vzorků. Vztah pro určení časového úseku můžeme vyjádřit:

$$t = \frac{1}{f_{vz}} \cdot n_{vz} \quad (3.7)$$

$t$  – uložený časový úsek [s]

$f_{vz}$  – vzorkovací frekvence pro 3 kanály (rate) [Hz]

$n_{vz}$  – počet vzorků (samples) [-]

Pro konkrétní nastavení aplikace můžeme určit dobu trvání:

$$n_{vz} = 6000; f_{vz} = 60\,000$$

$$t = \frac{1}{60000} \cdot 6000 = 0,1 \text{ s}$$

### 3.4.1 Ukládání dat

Data jsou ukládány do textového souboru pro snadnější ladění programu, které umožňovalo jednoduchou vizuální kontrolu zapsaných dat. Tento formát zápisu do souboru nevykazuje úsporu místa při ukládání (v porovnání zápisu do binárního souboru), nicméně právě kvůli zmiňované výhodě byl pro tuto aplikaci zvolen.

Pro ukládání dat je použito bloku „Write to spreadsheet.vi“. Za pomoci operací s polem znaků (string) jsou následně společně uloženy vzorky a časové značky. Algoritmus pro formátování do souboru je umístěn ve struktuře case. Do této struktury jsou odesílána data pokaždé, když je překročena

podmínka spouštění. Takto nastavená podmínka bez ošetření znamená neustálé ukládání dat každou sekundu (dáno koncem názvu souboru - *HH:MM:SS*). V případě neustále překročené podmínky dochází k přepisování jednoho souboru. V konečném důsledku by to mohlo znamenat ukládání nesprávných vzorků nebo naplnění kapacity úložného média (harddisku).

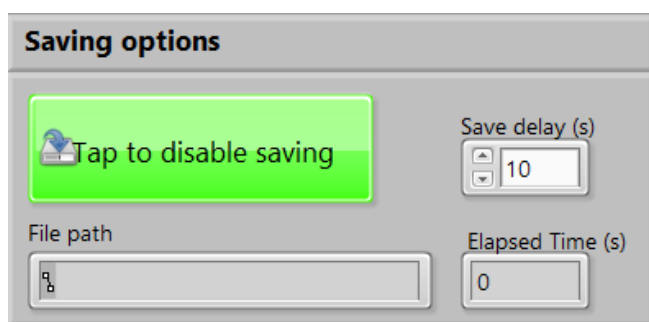
Z tohoto důvodu musela být do programu přidána zpětná vazba a milisekundové čekání, aby zpětná vazba nezapříčinila okamžité přepsání hodnoty odesílanou na zmiňovanou case strukturu a zamezila tím uložení. Tímto zajistíme vyslání pouze jednoho „pulsu“ na case strukturu (zde se nachází komponenty pro zápis do souboru) a poté čekání uživatelsky definovaný čas na zapsání dalších dat.

V případě, že nastane chyba v síti nebo není připojeno žádné napětí, jsou překročeny podmínky nepřetržitě. Proto je program ošetřen tak, že po zapsání prvního souboru čeká uživatelsky volitelný čas na uložení dalšího souboru. Dobu, která zbývá k zapsání dalších dat můžeme nastavit i sledovat. (viz. obr. 9)

Tímto je zamezeno případné přeplnění harddisku daty. Pokud bude z jakéhokoliv důvodu zapotřebí, lze ukládání dat jednoduše vypnout tlačítkem.

Soubor je zapisován do složky „*C:\data*“. Složka musí být před prvním použitím vytvořena, jinak program upozorní uživatele na chybějící adresář.

Název souboru je ve tvaru aktuálního času: *YYYY\_MM\_DD-HH\_MM\_SS.txt*



Obr. 9 – Prvky na předním panelu pro ukládání dat do souboru

*Tap to disable saving button* – tlačítko pro zakázání/povolení ukládání do souboru

*File path* – cesta k poslednímu uloženému souboru

*Save delay (s)* – časové zpoždění mezi ukládanými daty



*Elapsed time* – čas, zbývající k zapsání dalšího souboru

Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápoředa													
CH 1	1,711478		15:16:16,441487312	CH 2	2,706381		15:16:16,441454012	CH 3	3,379925		15:16:16,441420712						
CH 1	1,984619		15:16:16,441520612	CH 2	2,908109		15:16:16,441487312	CH 3	3,384808		15:16:16,441454012						
CH 1	2,063662		15:16:16,441553912	CH 2	2,360607		15:16:16,441520612	CH 3	3,381756		15:16:16,441487312						
CH 1	1,872616		15:16:16,441587212	CH 2	2,478103		15:16:16,441553912	CH 3	3,695181		15:16:16,441520612						
CH 1	1,969359		15:16:16,441620512	CH 2	2,909330		15:16:16,441587212	CH 3	3,481552		15:16:16,441553912						
CH 1	1,976073		15:16:16,441653812	CH 2	2,713401		15:16:16,441620512	CH 3	3,369549		15:16:16,441587212						

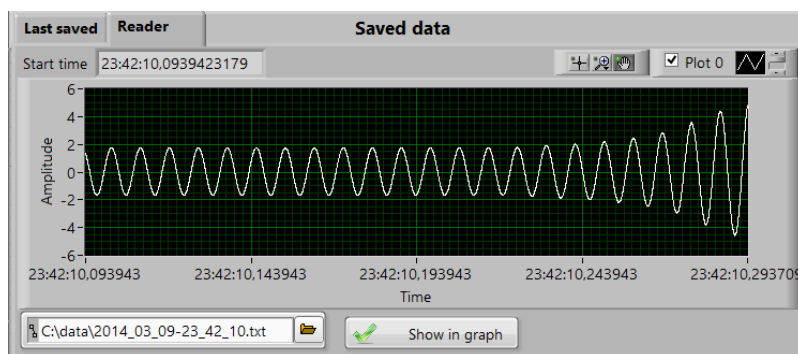
Obr. 10 - Náhled do souboru uložených dat

Výše uvedený obrázek informuje o způsobu zapsání dat do souboru. Data jsou zapsány v datovém typu string do sloupců. Z tohoto důvodu by mohl nastat problém s načtením v jiném editoru. Pro zpětné zobrazení a lokalizaci dřívějších událostí je doporučeno použít čtečku souborů. (viz. kap.3.4.2)

### 3.4.2 Čtečka souborů

Během ladění programu byl kladen důraz na komfortní obsluhu programu. Zapsaná data pouze v textové podobě na první pohled nic nevypovídají. Následné zpracování těchto dat pomocí jiných programů jako je Matlab nebo Excel by kompaktnost a uživatelský komfort výrazně snížilo. Dalším hlediskem bylo i problematické načítání uloženého formátu času. Tyto skutečnosti vedly k nutnosti zhotovit čtečku uložených souborů.

Uživatelské rozhraní tohoto podprogramu ve formě subVI je přístupné z čelního panelu aplikace v záložce „Reader“. Základním prvkem čtečky je obdobná komponenta jako v případě čtení „Read from spreadsheet.vi“. Dále se zde nachází prvky pro formátování pole znaků, nezbytné pro správné čtení. Navíc je zde vytvořeno skládání časové osy uloženého průběhu pro lepší orientaci a možné vizuální srovnání v čase s paralelními měřicími stanicemi.



Obr. 11 - Čtečka uložených dat

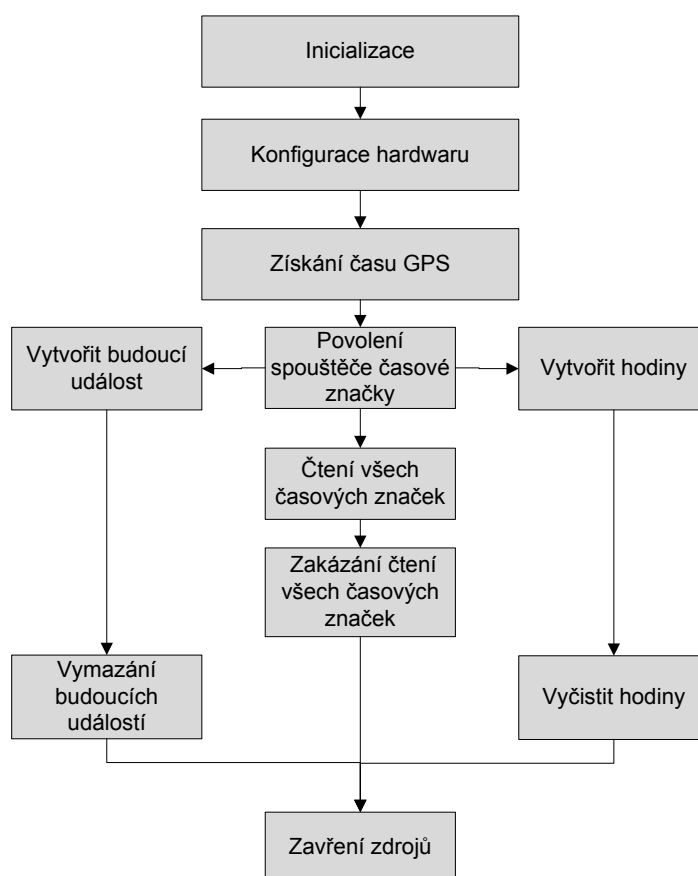
Čtečka zpětně vykreslí uložená data, součástí prvku graf je i paleta nástrojů pro přibližování a procházení v časové ose. Dále je možno zobrazit pouze zvolený kanál pro lepší přehlednost.

## 4 Studium možností synchronizovaných měření pomocí GPS signálu

Zařízení z rodiny NI Sync, zahrnující kartu *NI PXI-1588* a *NI PXI-6682*, používají časové synchronizování pro synchronizaci frekvence a fáze s časem. Časová reference je externí zdroj, který provádí periodické časové obnovování.

Karta *NI PXI-6682* je časovací a synchronizační modul schopný synchronizovat PXI systémy a synchronizační události za pomoci GPS, IEEE 1588, IRIG-B nebo PPS.

Níže uvedené schéma (viz obr. 12 [6]) zobrazuje schéma práce programu NI Sync s kartou *NI PXI-6682*.



Obr. 12 - Základní tok programu aplikace NI Sync se zařízeními *NI PCI-1588* a *NI PXI-6682H* [6]

### 4.1 IEEE 1588

IEEE 1588 je norma pro synchronizované fázorové měření v energetických systémech. Zabývá se definicí synchronizovaného fázoru, synchronizací času, aplikací časových značek a metodikou, k ověření shody měření s normou. Dále se zabývá formátům zpráv pro komunikaci s fázorovou měřicí jednotkou (PMU). V této souvislosti může být PMU samostatná jednotka nebo je součástí jiného zařízení.

Tato norma nestanovuje limity pro měření doby odezvy, přesnost za přechodných podmínek, hardware, software nebo metody pro výpočet fázoru. [2]

K synchronizaci měřících systému a aplikací, vyžadující přesnější časový údaj než je údaj poskytující NTP (Network Time Protocol), je zapotřebí využití normy pro časovou synchronizaci IEEE 1588. Běžný NTP pracuje s časovým údajem v řádech ms. Při použití normy IEEE 1588 se přesnost a podrobnost časového údaje dostává na řády mikrosekund.

Zařízení poskytující normovaný časový údaj jsou například GPS satelity, IEEE 1588 masters, IRIG-B zdroje. [6]

### 4.2 GPS

Globální poziční systém (GPS) je soustava družic, financována a spravována americkým ministerstvem obrany. GPS je považována za technologii používanou pro zjištění pozice, ale je to současně i velmi přesný zdroj času.

Každý ze satelitů GPS obsahuje atomové hodiny, které jsou řízeny z hlavních hodin, tzv. „Master Clock (MC)“. Hlavní hodiny jsou umístěny ve Spojených státech amerických v námořní observatoři (United States Naval Observatory (USNO)) a jsou často uváděny jako UTC. Odchylka těchto hodin není větší než 10 ns.

GPS přijímač dokáže napájet aktivní GPS anténu, přijímat a zpracovávat radiofrekvenční signál o kmitočtu  $1.575\text{ GHz}$ , vysílaný ze satelitů na orbitu Země. Kvalita tohoto signálu je ovlivněna dobrou viditelností na oblohu. Je proto nutné, aby byl zajištěn příjem signálu z co největší části oblohy a tím i příjem z co nejvíce satelitů. [5]

### 4.2.1 GPS časová synchronizace

Modul *NI PXI-6682* může využívat GPS technologii pro získání referenčního času. Zařízení používá aktualizace času přijímané vestavěným GPS přijímačem každou sekundu, odvozené od TAI času a využívá tento čas jako výchozí.

Po prvním připojení GPS antény do karty *NI PXI-6682* hledá vestavěný GPS přijímač dostupné satelity. Po detekci nejméně čtyř satelitů provede GPS přijímač vlastní průzkum tzv. „Self-survey“. Během této procedury může být GPS použit pro referenční čas, ale je méně přesný než po dokončení. [6]

Proces Self-survey provádí měření viditelných satelitů jednou za sekundu a průměrování těchto hodnot tak, aby byl údaj o poloze a čase co nejpřesnější. Jakmile je přesná pozice určena, data o čase mohou být použita co možná nejpřesněji. Tento proces trvá cca 15 minut a provádí se po každém resetu zařízení. Tuto možnost lze zrušit za předpokladu, že je GPS anténa fixována na místě.

### 4.2.2 Časové měřítko TAI a UTC

Mezinárodní atomový čas (TAI) je statistická atomová časová základna. Je založená na velkém počtu hodin, které pracují ve standardizačních laboratořích po celém světě a jsou spravovány BIPM. Jeho jednotkový interval je přesně jedna SI sekunda na úrovni moře. Je tedy určen na základě kontinuálního přičítání SI sekund. TAI je nyní o 35 sekund vpřed oproti času UTC a není upraven pro přechodné sekundy. Dle doporučení BIPM využívají tento čas zařízení, která by nemohla zpracovat přechodné sekundy. [8]

Koordinovaný světový čas (UTC), známý také jako Zulu čas nebo GMT, je mezinárodně používaný čas. Lokální UTC čas se liší od UTC času počtem hodin určujícím příslušná časová zóna.

UTC se od TAI časové základny liší počtem přestupných sekund. Rozhodnutí o zavedení přestupné sekundy v UTC je zodpovědnost IERS a má souvislost s rotací Země.

*TAI je vyjádřen pomocí UTC vztahem:*

$$TAI = UTC + dAT$$

*dAT - celkový algebraický součet přestupných sekund*

## 4.3 Synchronizační karta NI PXI-6682

Karta *NI PXI-6682* může využívat GPS, IEEE1588, IRIG-B nebo PPS signály získáním referenčního času a synchronizovat tak ostatní zařízení nebo PXI systémy.

Nezískáme pouze synchronizované hodiny pro více PXI nebo PXIe zařízení, ale taky společný referenční čas. Tento nám dává možnost vytvářet budoucí události a opatřovat příchozí signály časovou značkou nesoucí synchronizovaný čas. [5]



*Obr. 13 - GPS modul NI-PXI 6682 [6]*

K využití funkcí této karty je zapotřebí doinstalovat do PXI systému software „NI Sync“. Jedná se o balík funkcí k synchronizaci. Po instalaci je možné jej najít v okně funkcí v LabVIEW pod Measurement I/O → NI Sync. Jsou zde funkce zajišťující komunikaci LabVIEW se synchronizační kartou.

Tyto bloky jsou použity v části programu zabývající se časovou synchronizací z GPS.

## 4.4 Přesnost časového údaje

Při vyhodnocování výsledků z časové synchronizace je důležité vědět, s jakou přesností jsme získali daný časový údaj.

Pro správnost časového údaje vzorkovaných dat je v programu zavedena korekce časových stop druhého a třetího kanálu - CH2, CH3 (viz kap.3.1).

*Tab. 1 – Synchronizační přesnost NI PXI-6682 a NI PXI-6682H [1]*

Zdroj času	Synchronizační přesnost
GPS	$\pm 100$ ns, <13 ns odchylka
IEEE 1588 3 m po ethernetu	$\pm 47$ ns, <10 ns odchylka
IEEE 1588 přes hub	$\pm 210$ ns, <35 ns odchylka
IEEE 1588 přes switch	$\pm 25$ $\mu$ s, <150 ns odchylka
IRIG-B DC	$\pm 55$ ns, <13 ns odchylka
IRIG-B AM	$\pm 1$ $\mu$ s, <220 ns odchylka
IRIG-B AM ke zdroji	$\pm 5$ $\mu$ s, <500 ns odchylka
PPS	$\pm 47$ ns, <10 ns odchylka

Výše uvedená tabulka porovnává přesnost různých zdrojů času, dostupných pro synchronizační kartu.

V technických údajích synchronizační karty NI PXI-6682 je uvedeno, že přesnost získaného časového údaje z GPS je určena s přesností  $\pm 100$  ns. V případě dvou stanic musíme počítat s nepřesností  $\pm 200$  ns a navíc další zpoždění mezi GPS satelity a PXI systémem, které není konstantní.

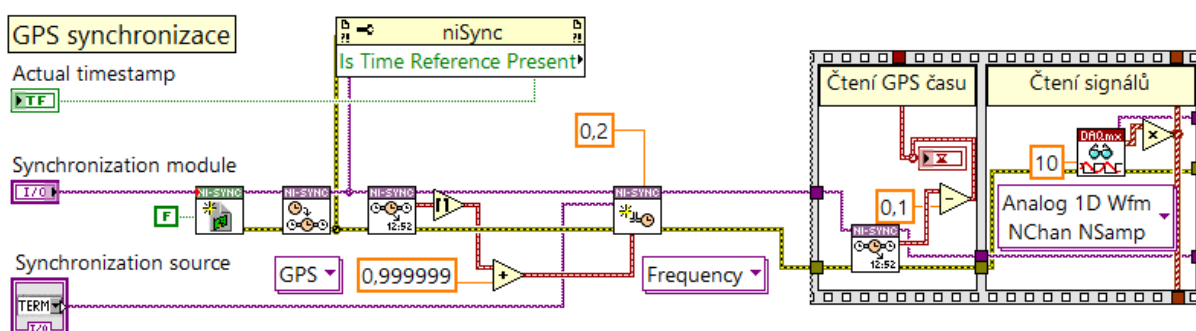
Ostatní zdroje času mají lepší přesnost, ale je zapotřebí časový server a proto vyžadují další hardware navíc.

## 5 Tvorba aplikace pro měření opatřená časovou značkou

Při tvorbě synchronizační časové značky sloužil jako podklad předchozí modul programu (viz kap. 3). Program obsahuje úlohu pro obsluhu synchronizační karty a musel být upraven vhodnými strukturami programu tak, aby byly vykonávané operace v daném sledu. Nejprve je obslužen hardware, dále je načtena časová značka a neprodleně poté jsou načteny vzorky ze vstupních kanálů. Následuje vyhodnocení spouštěcí podmínky a případné uložení do souboru.

Tímto je zajištěn synchronizovaný čas, který je v případě více paralelních měřících stanic stejný na různých místech soustavy a umožní sledování přenosu poruchy mezi stanicemi v čase.

Načtená časová značka určuje počátek časové osy uložených vzorků.



Obr. 14 - Blok GPS synchronizace

Při tvorbě synchronizační časové úlohy je zapotřebí dodržet tok úlohy (viz. kap. 4). Dále je nutné, aby byla zajištěna posloupnost vykonávání čtení času z GPS a čtení vzorkovaných dat.

Tok programu (data-flow) lze zajistit strukturou filmového pásu. Další možnost je řízení toku programu chybovým klastrem (žlutý vodič). Pro zajištění této posloupnosti bylo využito obou možností.

## 6 Ověření činnosti aplikace pro třífázová měření opatřená časovou značkou

Ověřování správné funkce programu proběhlo ve dvou fázích. První fáze proběhla na USB kartě a funkčním generátoru a druhá fáze na systému *NI PXI* a generátorem třífázového zdroje napětí.

Při měření byly simulovány poruchy, které by mohly nastat v měřené soustavě. Zkrat a nárůst nebo pokles amplitudy jsou události, které spustí ukládání měření.

### 6.1 Ověření funkce pomocí USB karty a funkčního generátoru

Při prvotním ověřování funkce byl použit stejný hardware jako v případě ladění, tj. měřicí karta *NI USB-6210* a funkční generátor *GFG-8200A*.

Program byl v této fázi testován na sinusový signál o těchto parametrech:

*Tab. 2 - Parametry měřeného signálu*

Frekvence	50,1 Hz
Počáteční napětí	3,9 V
Konečné napětí	0,9 V

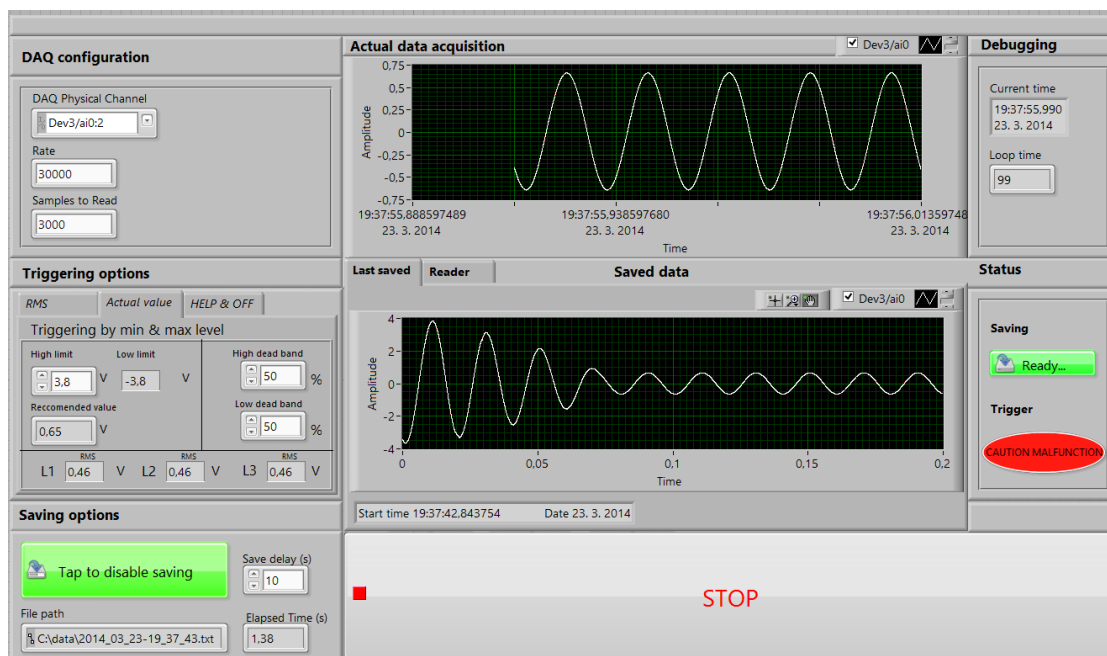
*Tab. 3 - Použité měřicí přístroje a zařízení*

Zařízení	Název	Inv.číslo
USB IO karta	NI USB-6210	30502991/0
Funkční generátor	GFG 8217A	20200193/0

Signál z generátoru je přiveden paralelně na všechny tři napěťové vstupy. Získáme tedy stejný signál na všech kanálech bez fázového posunutí. Pro prvotní testování tato konfigurace vystačí.



### 6.1.1 Ověření spouštěcí podmínky dle okamžité hodnoty v režimu bez GPS



Obr. 15 - Ukázka aplikace při ověřování funkce

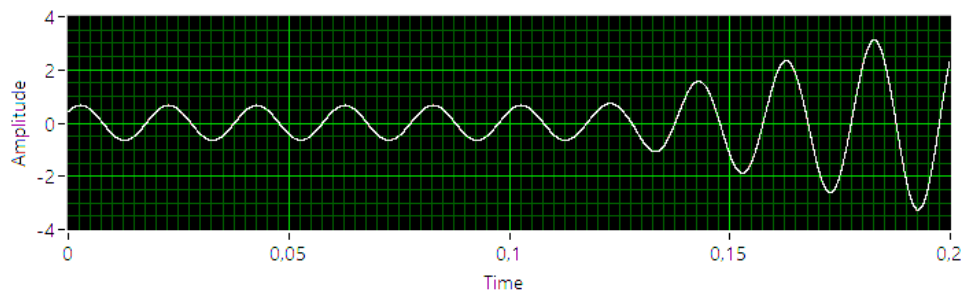
Byla měřena odezva na zeslabení signálu. Tato simulace proběhla bez synchronizace s GPS a jako časový zdroj byl použit systémový čas PC. Jeden signál z generátoru byl přiveden na všechny tři analogové vstupy.

Program při testování v tomto režimu bez GPS reagoval podle požadavků na jakékoliv změny napětí - na zvýšení, snížení nebo nepřítomnost signálu.

### 6.1.2 Ověření spouštěcí podmínky dle plovoucí okamžité hodnoty, určené pomocí RMS v režimu bez GPS

Tab. 4 - Parametry signálu

Frekvence	50,1 Hz
Počáteční napětí	0,9 V
Konečné napětí	4,0 V



Obr. 16 – Ukázka zachyceného signálu při ověřování funkce

Při testování této podmínky bylo zjištěno, že je více vhodná pro skokové změny signálu, nebo zákmity obsažené v signálu. Tato podmínka vykazovala rychlejší odezvu a bylo možné zachytit i malé zkreslení signálu.

## 6.2 Ověření aplikace na systému NI PXI

Ověřování funkce na modelu třířázové sítě bylo prováděno dne 25. 3. 2014 v 14:30 hod. v laboratoři NK 201 při účasti vedoucího bakalářské práce.

Tab. 5 - Použité měřicí přístroje a zařízení

Zařízení	Název	Inv.číslo
Systém PXI	NI PXI - 1042Q	23712/0
Vzorkovací karta	NI PXI - 6040E	501 517
GPS karta	NI PXI - 6882	501 463
Třířázový zdroj napětí	HP 6834 - B	500 218

V tabulce č. 6 můžeme vidět zvolené nastavení aplikace pro testování. Aplikace byla zkoušena na tři typy chyb v signálu:

- přerušení vedení na jedné z fází
- snížení a zvýšení napětí na jedné z fází
- odpojení od sítě

Dle nastavených parametrů bylo prověřováno pět period signálu a byly ukládány dva balíky, to je deset period signálu o celkové délce 0,2 s.

Z důvodu bezpečnosti a laboratorních podmínek bylo měření provedeno na nízkém ST napětí do 50 V.

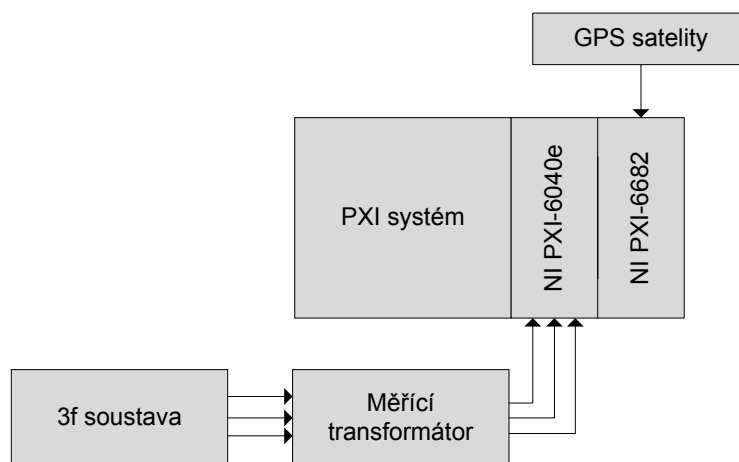
Pro zobrazení správné hodnoty napětí je nutné implementovat do programu konstantu, která přepočítává napětí na odpovídající hodnotu v síti. Volba konstanty je přístupná z hlavního panelu aplikace.

Tato úprava byla implementována až po testování aplikace, proto se tato korekce neobjevuje v naměřených datech.

Data uložená do souboru jsou zobrazena pomocí prostředí LabVIEW z důvodu přítomnosti časové značky a vzniklých komplikací při jejím čtení v jiných výpočetních programech.

Tab. 6 - Nastavené parametry měření

Vzorkovací frekvence	30 000
Počet vzorků na kanál	3 000
Sledovaný signál	50,1 Hz



Obr. 17 - Blokové schéma zapojení měřicího systému

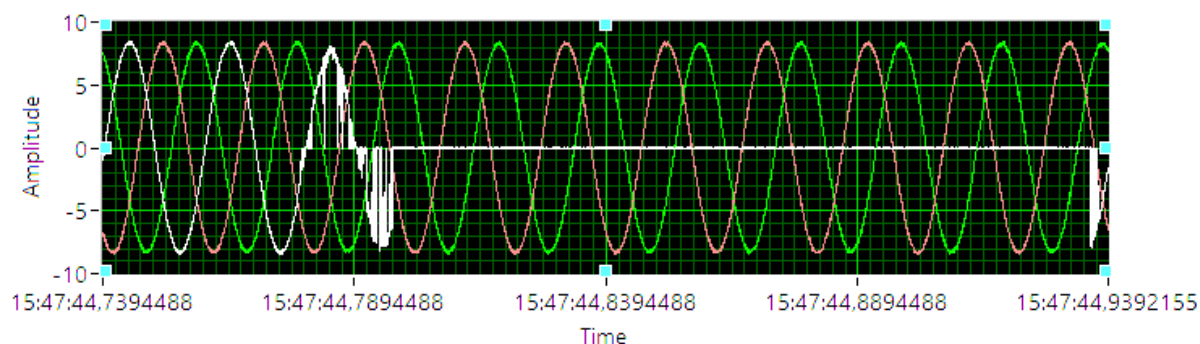
Na obrázku č. 17 je znázorněno možné zapojení měřicího systému do distribuční sítě elektrické energie.

### 6.2.1 Ověření spouštěcí podmínky č. 1

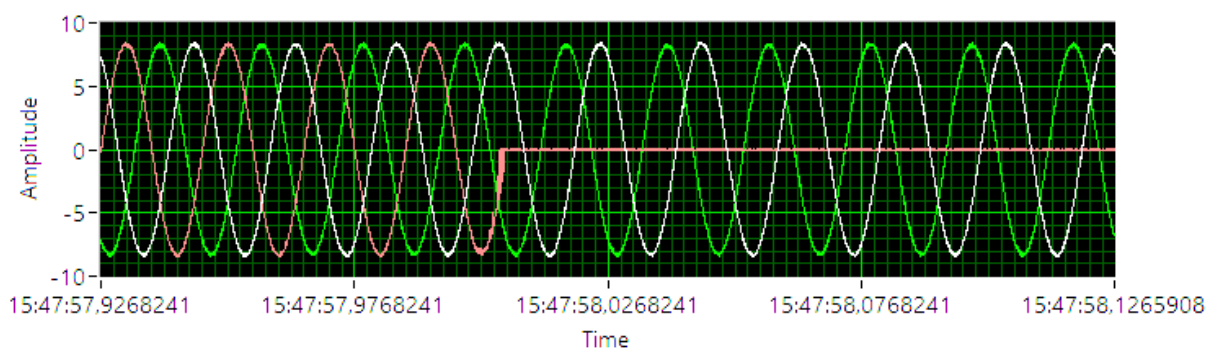
Vzhledem k účelům aplikace je v závěru testována pouze spouštěcí podmínka č. 1 – dle aktuální hodnoty. Data z měření jsou dostupná v příloze na CD v adresáři „Data z měření“.

### 6.2.2 Přerušení fáze

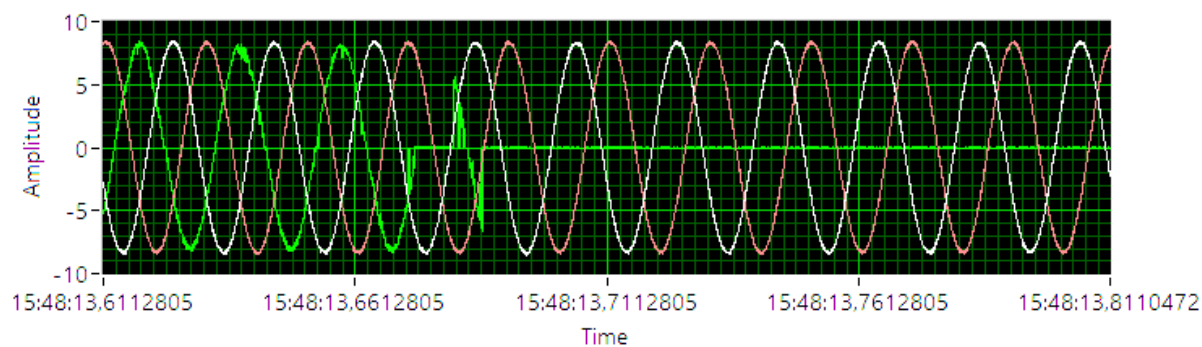
Kvůli vlastnostem vzorkovací karty musí být každý kanál připojen přes odpor na GND. V opačném případě by odpojený signál nabyl potenciálu některého z kanálů vzorkovací karty.



Obr. 18 - Přerušení fáze L1 viz příloha 2014\_03\_25-15\_48\_57.txt



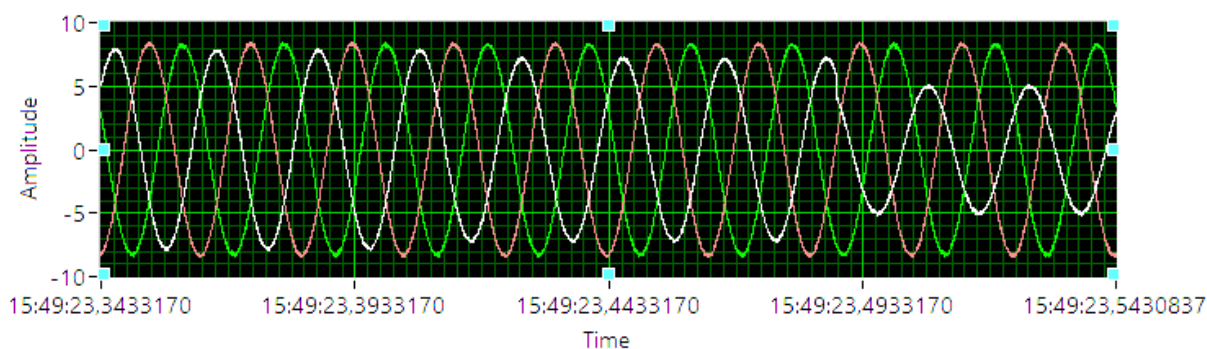
Obr. 19 - Přerušení fáze L2 viz příloha 2014\_03\_25-15\_49\_10.txt



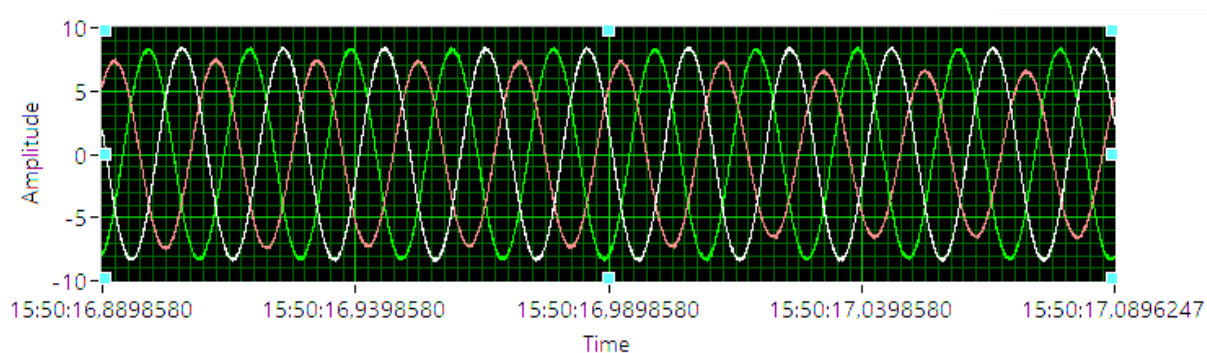
Obr. 20 - Přerušení fáze L3 viz příloha 2014\_03\_25-15\_49\_26.txt

### 6.2.3 Snížení napětí

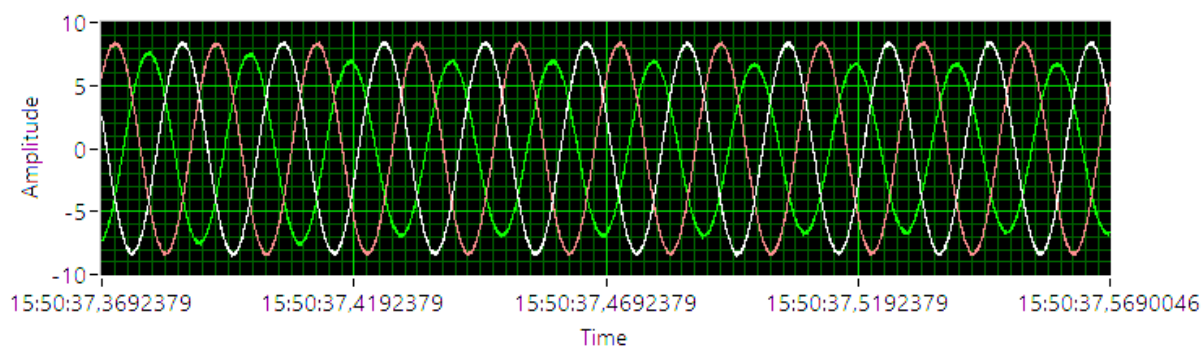
Snížení proběhlo vždy pouze na jedné z fází.



Obr. 21 - Snížení napětí na fázi L1 viz příloha 2014\_03\_25-15\_50\_36.txt

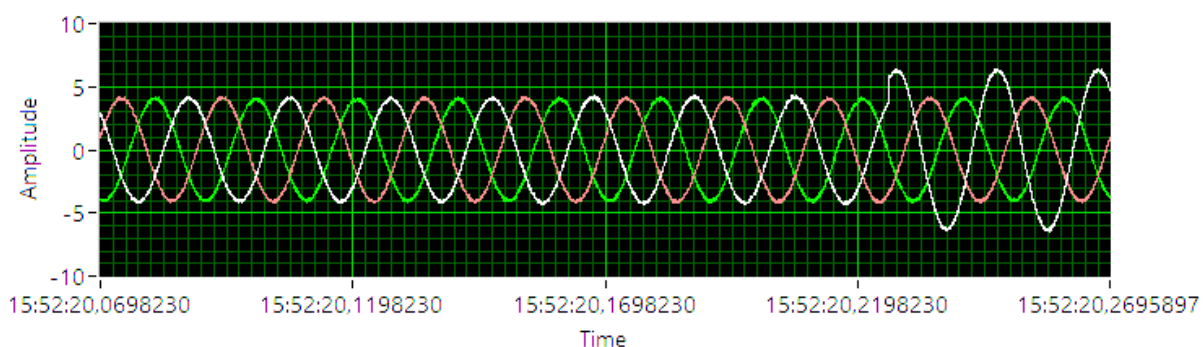


Obr. 22 - Snížení napětí na fázi L2 viz příloha 2014\_03\_25-15\_51\_29.txt

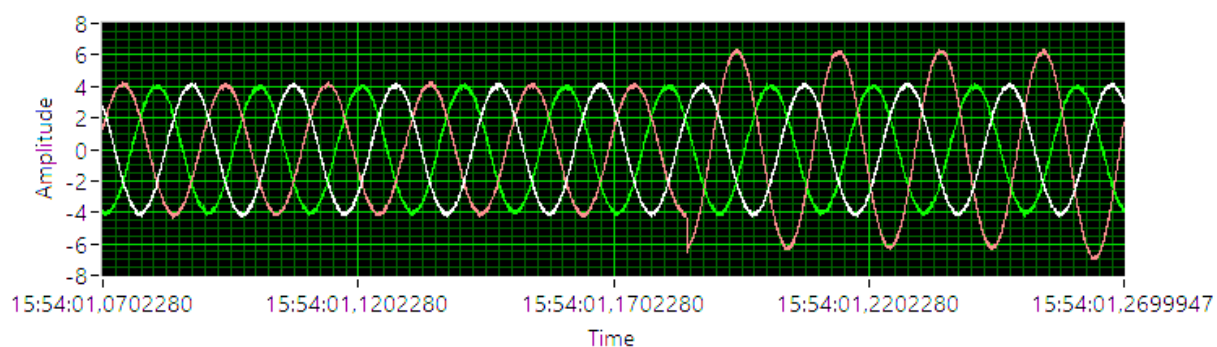


Obr. 23 - Snížení napětí na fázi L3 viz příloha 2014\_03\_25-15\_51\_50.txt

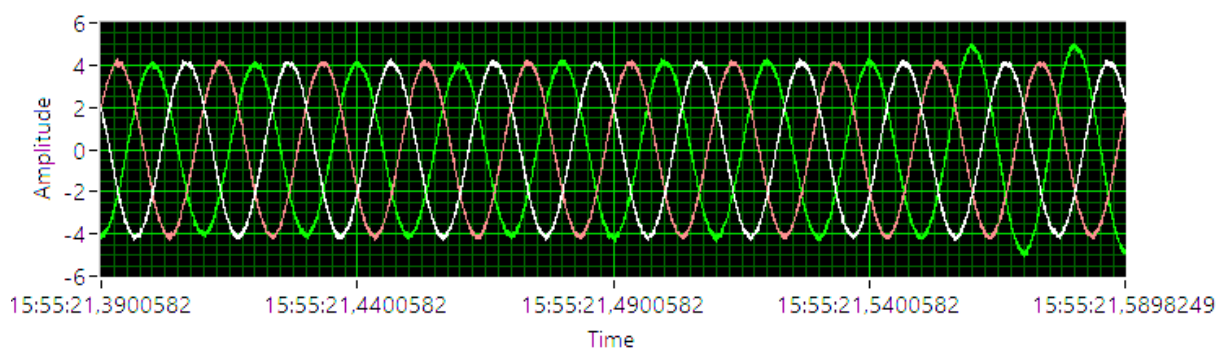
#### 6.2.4 Zvýšení napětí



Obr. 24 - Zvýšení napětí na fázi L1 viz příloha 2014\_03\_25-15\_53\_32.txt



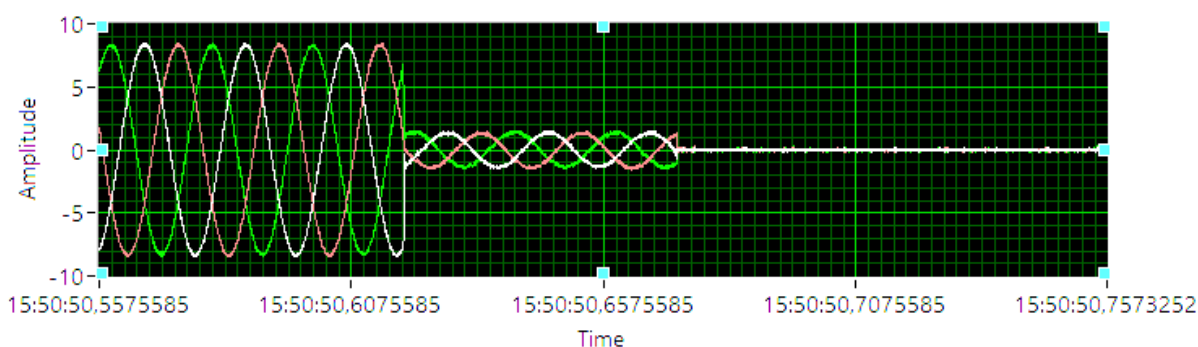
Obr. 25 - Zvýšení napětí na fázi L2 viz příloha 2014\_03\_25-15\_55\_13.txt



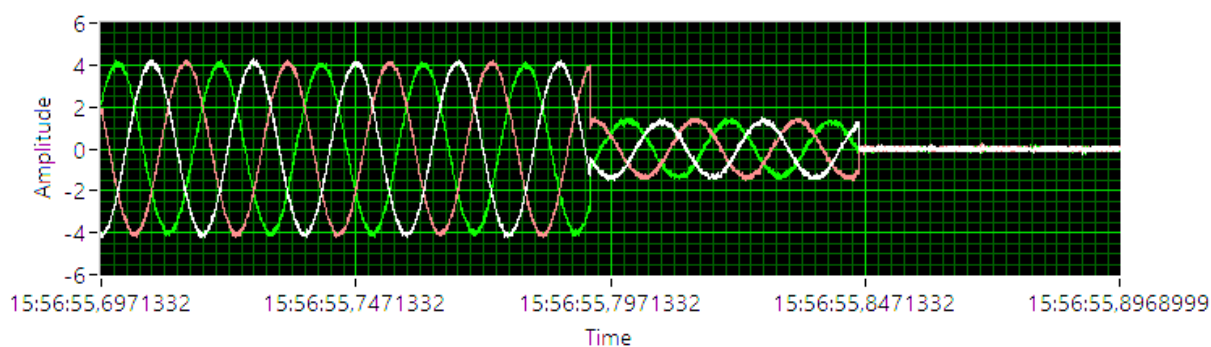
Obr. 26 - Zvýšení napětí na fázi L3 viz příloha 2014\_03\_25-15\_56\_34.txt

## 6.2.5 Přerušení vedení sítě

Odpojení od sítě bylo simulováno vypnutím třířázového zdroje.



Obr. 27 – Přerušení vedení sítě viz příloha 2014\_03\_25-15\_52\_03.txt



Obr. 28 - Přerušení vedení sítě 2 viz příloha 2014\_03\_25-15\_58\_08.txt

## 6.3 Možné využití aplikace

Primární funkcí aplikace je zachycení nestandardního děje nebo události ve sledované třířázové soustavě. Reaguje na většinu nestandardních situací, které by mohly v síti nastat:

- zkrat
- přepětí
- zásah blesku

Vzhledem ke konstrukci programu se nabízí možnost nastavit podmínku tak, aby její spouštěcí hodnoty byly v rozmezí maximálních povolených odchylek od RMS hodnoty soustavy.

Tuto skutečnost můžeme využít k posuzování kvalitativních parametrů sítě a kontrolovat maximální přípustné odchylky v síti.

Při volbě této spouštěcí konfigurace vycházíme z faktu, že špičková hodnota napětí v síti se určí dle vztahu:

$$U_{max} = \sqrt{2} \cdot U_{ef}$$

Spouštění záznamu dat bude uskutečněno na základě okamžitých hodnot napětí, které budou určovány pomocí RMS hodnoty. Na základě této hodnoty budou určeny okamžité spouštěcí úrovně s ohledem na přípustné hodnoty napětí v síti dané normou.

V normě ČSN EN 50160 čl.3 “Charakteristiky napětí a el. energie dodávané z veřejné distribuční sítě” je uvedena maximální přípustná odchylka fázového napětí 230 V +10% až -15%.

Maximální hodnoty efektivního napětí, udávané většinou dodavateli elektrické energie, jsou následující:

Pro stav +10%

$$230 \cdot 1,1 = 253V_{ef}$$

Pro stav -15%

$$230 \cdot 0,85 = 195,5V_{ef}$$



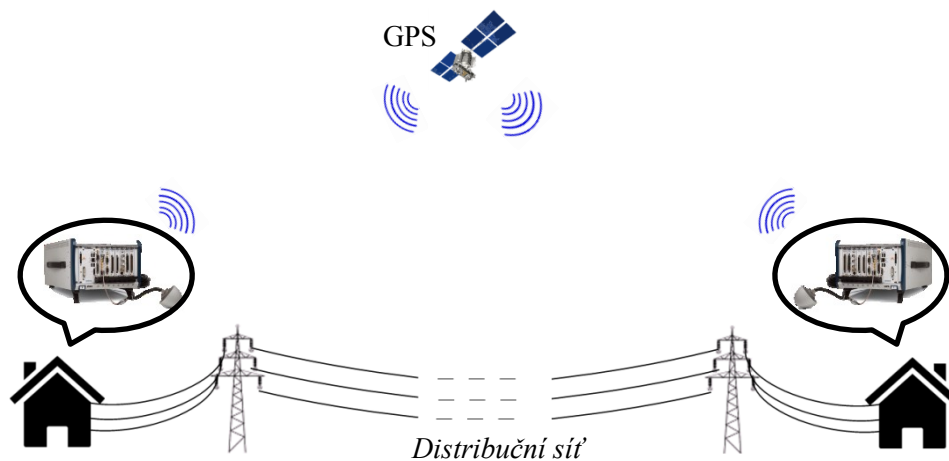
Tab. 7 - Předpokládané spouštěcí hodnoty napětí

Odchylka	$U_{ef}$
-15%	195,5 V
0%	230 V
+10%	253 V

Tyto úrovně jsou předpokládány a budou tvořit dovolené pásmo necitlivosti na spouštěcí podmínku.

Další využití tohoto programu závisí na konkrétní aplikaci. Prakticky jej lze použít ve všech případech, kdy potřebujeme zachytit nestandardní událost v síti s přesným referenčním časem. Program může být implementován na více míst v síti a naskytuje se možnost srovnání událostí na různých místech se stejným referenčním časem z GPS.

Aplikace bude sloužit ke studiu šíření poruchy v distribuční napájecí síti VN.



Obr. 29 - Využití aplikace

## 7 Závěr

V této bakalářské práci se zabývám návrhem programu pro zachycení průběhů signálů třífázové sítě při výskytu napěťové úrovně mimo nastavený rozsah. Podkladem pro návrh tohoto programu je obecné seznámení s virtuální instrumentací, časovou synchronizací a problematikou třífázových sítí.

Výsledkem práce je aplikace v podobě virtuálního instrumentu, navržená v prostředí LabVIEW. Program je schopný zachytit události v třífázové soustavě a uložit data do souboru s možností zpětného vykreslení. V aplikaci je možno měnit parametry vzorkování, ukládání dat a spouštěcí úrovně.

Program je určen pro zařízení *NI PXI*. Toto zařízení musí být pro požadovanou funkci opatřeno vzorkovací kartou *NI PXI-6040e* a kartou s GPS modulem *NI PXI-6682*, nezbytnou pro synchronizaci referenčního času.

Pro ladění a prvotní ověřování funkce vzorkovací části programu jsem použil USB kartu *NI USB-6210*, z důvodu kompaktnosti hardwaru. Časovou synchronizaci s GPS nelze simulovat nebo nahradit, proto bylo nezbytné tuto část programu ladit na systému PXI.

Ověření funkce bylo provedeno na třífázovém zdroji napětí *HP 6834 - B* a systému PXI. Aplikace byla testována na snížení a zvýšení napětí na jednom z kanálů a také je schopna zachytit odpojení od sítě.

Výpočtem dovolených hodnot napětí pro vedení nízkého napětí jsem nastínil možnost použití aplikace pro sledování kvalitativních parametrů sítě.

Hlavní výhodou tohoto měřicího systému je synchronizovaný referenční čas. Nabízí se možnost použití více měřicích systémů na různých místech distribuční soustavy se stejným referenčním časem, který je použit k označení počátku poruchové události. Takovou soustavou PXI měřicích stanic je možné sledovat šíření poruchových událostí v síti. Tato práce bude podkladem pro vývoj komplexní aplikace, zabývající se touto problematikou.

Toto téma bakalářské práce jsem si vybral, protože mne zaujala možnost společného využití měřicí techniky a GPS signálu.

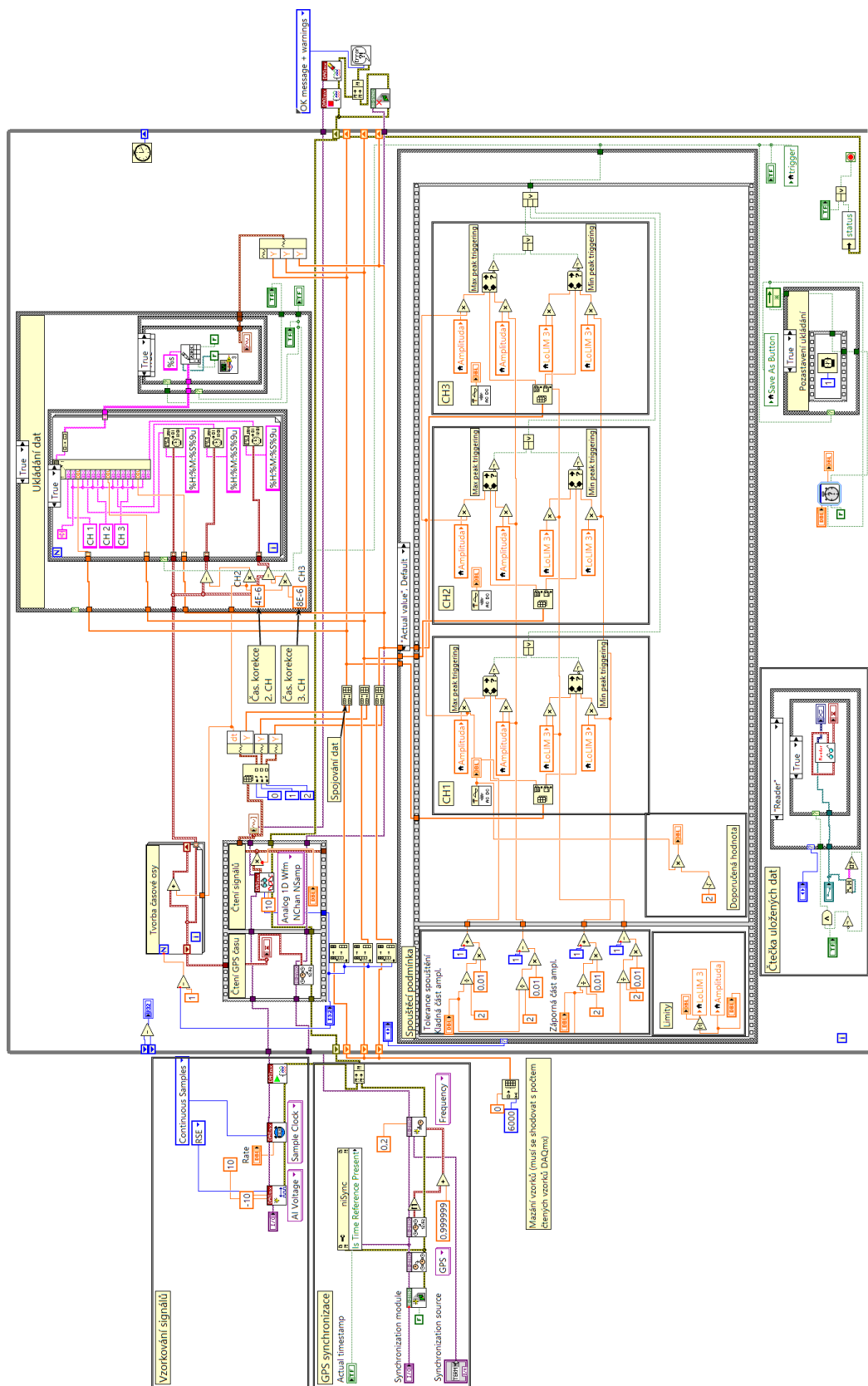
# Seznam použité literatury

- [1] NATIONAL INSTRUMENTS. NI PXI-6682 Series User Manual: NI PXI-6682 and NI PXI-6682H, Timing and Synchronization Modules for PXI. 2009. 65 s. [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: URL: < <http://www.ni.com/pdf/manuals/372292b.pdf> >
- [2] IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems. New York: IEEE Inc. 2006. 65s. [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: URL: < <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1611105&userType=inst> >
- [3] WITTASSEK, Tomáš. Virtuální instrumentace I. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2012. Sylaby do předmětu Virtuální instrumentace I. 264 s.
- [4] BILÍK, Petr. Virtuální instrumentace II. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2012. Sylaby do předmětu Virtuální instrumentace II. 288 s.
- [5] NATIONAL INSTRUMENTS. GPS, IEEE 1588, and IRIG-B Timing and Synchronization Modules for PXI and PXI Express, 2009. 4 s. [online]. [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: URL: < [http://www.ni.com/pdf/products/us/cat\\_pxi\\_6682.pdf](http://www.ni.com/pdf/products/us/cat_pxi_6682.pdf) >
- [6] NATIONAL INSTRUMENTS. NI - Sync User Manual, 2007. 67 s. [online]. [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: URL: < <http://ni.com/pdf/manuals/370926d.pdf> >
- [7] NATIONAL INSTRUMENTS. Programming with DAQmx, [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: URL:< [http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371893D-01/6536and6537help/programming\\_with\\_nidaqmx/](http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371893D-01/6536and6537help/programming_with_nidaqmx/) >
- [8] TIME SERVICE DEPT., USNO. Leap seconds, [online]. [cit. 2014-01-16]. Dostupné z : URL:< <http://tycho.usno.navy.mil/leapsec.html> >
- [9] NATIONAL INSTRUMENTS. DAQmx Timing and Sample Rates, [online]. [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: URL:< <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/3E3D74E26B8A5B83862575CA0053E4B5>>
- [10] NATIONAL INSTRUMENTS. Datasheet NI PXI-6040E , 2004. 11 s. [online]. [cit. 2014-01-1]. Dostupné z: URL:< [http://www.ni.com/pdf/products/us/4daqsc199-201\\_ETC\\_212-213.pdf](http://www.ni.com/pdf/products/us/4daqsc199-201_ETC_212-213.pdf)>
- [11] NATIONAL INSTRUMENTS. PXI: The Industry Standard Platform for Instrumentation. 2014. 9 s. [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: URL:< [http://ftp.ni.com/evaluation/pxi/ekit/PXI\\_101\\_EKit.zip](http://ftp.ni.com/evaluation/pxi/ekit/PXI_101_EKit.zip) >

# Seznam příloh

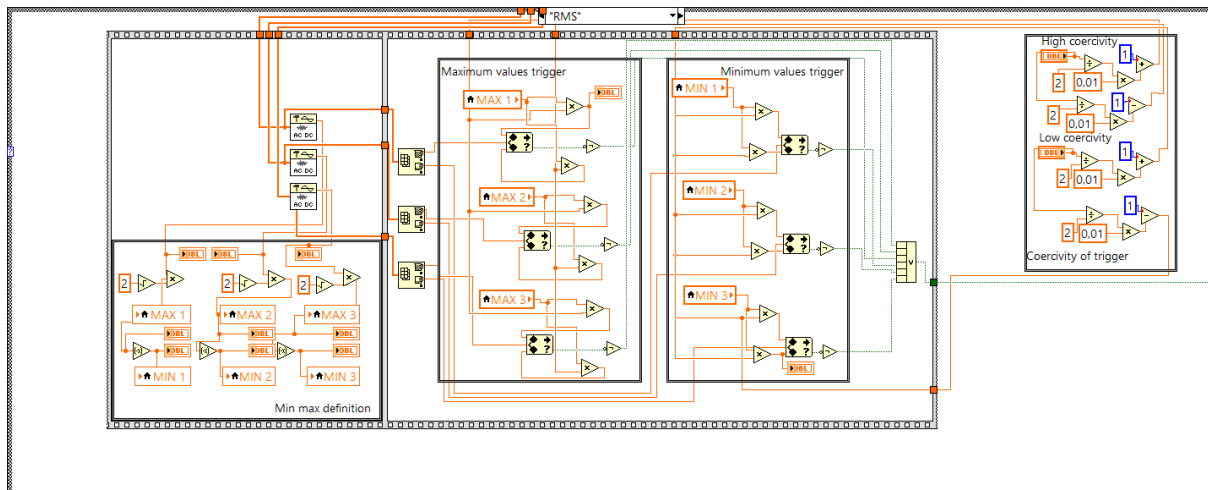
Dokumentace programu.....	I
Dokumentace programu.....	II
Dokumentace program.....	III
Příloha na CD.....	IV

# Dokumentace programu I



Obr. 1 - Blokový schéma modulu s GPS synchronizací

# Dokumentace programu II

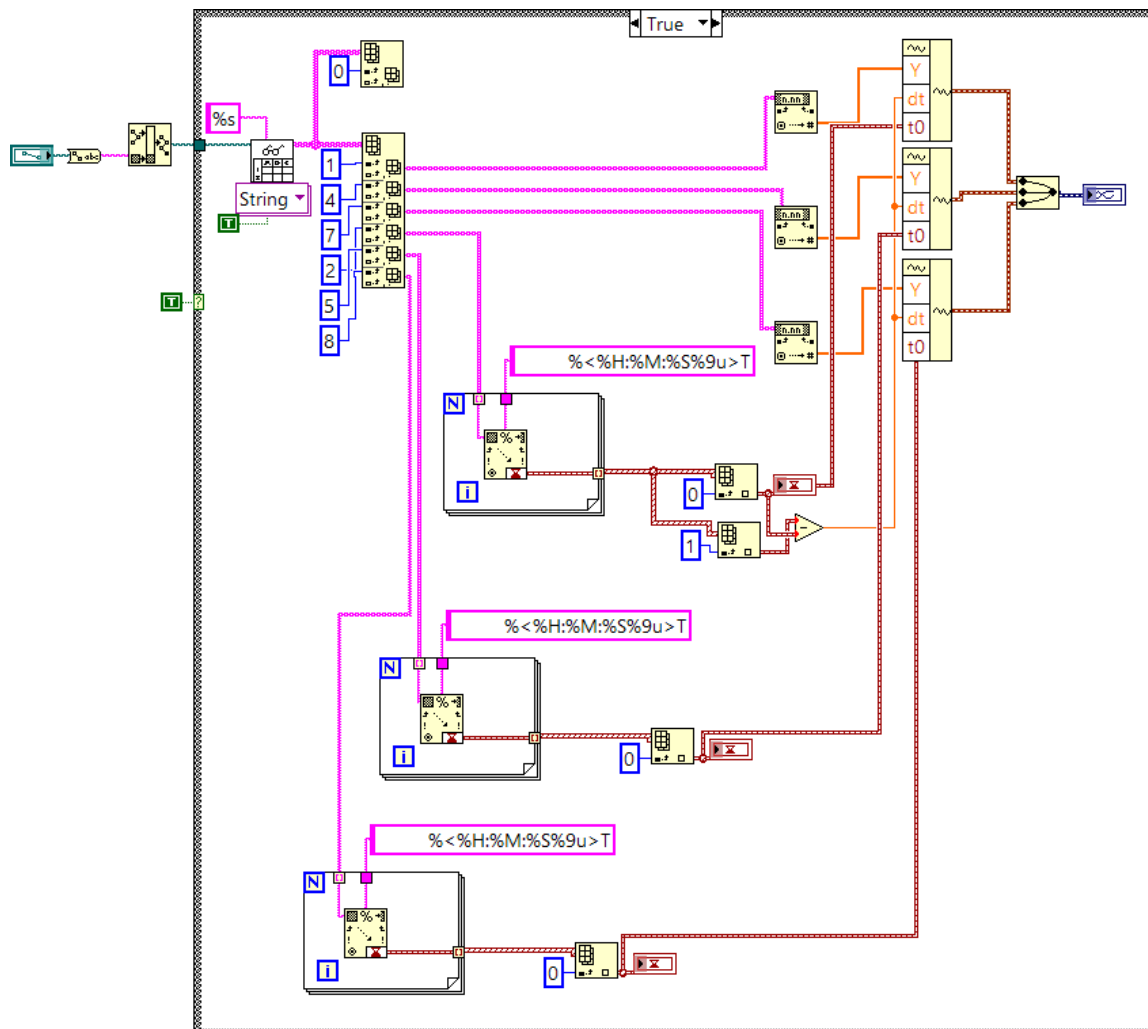


Obr. II - Blokový diagram spouštěcí podmínky č. 2

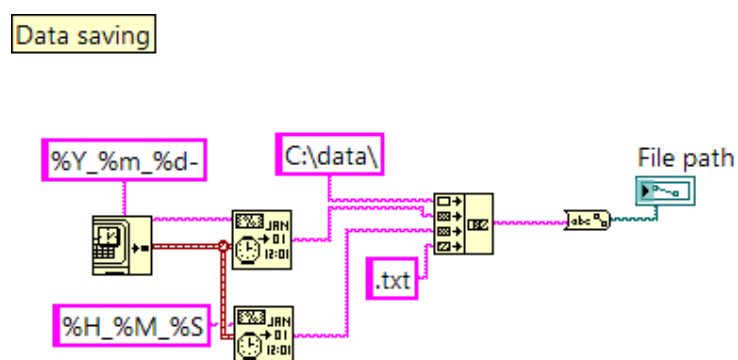


Obr. III - Čelní panel aplikace

# Dokumentace programu III



*Obr. IV - Blokové schéma subVI "ctecka.vi"*



Obr. V - Blokové schéma subVI "path.vi"

# **Příloha na CD**

- Bakalářská práce
- Aplikace pro synchronizované měření pomocí GPS
- Data z měření